



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Е.А. Памфилов¹, д-р техн. наук, проф.

Г.А. Пилюшина¹, канд. техн. наук

Е.В. Шевелева², канд. техн. наук

Я.С. Прозоров¹, канд. техн. наук, доц.

П.Г. Пыриков¹, д-р техн. наук, проф.

¹Брянский государственный технический университет, бул. 50-летия Октября, д. 7, г. Брянск, Россия, 241035; e-mail: epamfilov@yandex.ru, gal-pi2009@yandex.ru, yprozorov@gmail.com, pyrikovpg@mail.ru

²Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: elshev78@yandex.ru

Работоспособность подающих механизмов лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования определяется достигаемым сцеплением рабочих элементов вальцов с перемещаемыми заготовками, стабильность которого в значительной степени зависит от задаваемой при проектировании и реализуемой в процессе изготовления геометрии и физико-химических свойств материалов шипов, осуществляющих захват, удержание и непрерывное перемещение заготовок в зону обработки. В процессе эксплуатации геометрические параметры шипов изменяются вследствие изнашивания, которое является результатом действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных воздействий, сопровождающих процесс фрикционно-деформационного взаимодействия рабочих элементов подающих устройств и перемещаемой древесины. Изношенные шипы не обеспечивают надежного перемещения заготовки вследствие ее проскальзывания, что обуславливает снижение качества получаемых изделий и приводит к интенсификации изнашивания режущего инструмента. В то же время особенности влияния геометрической формы шипов на усилия сцепления подающих вальцов с перемещаемыми заготовками в условиях проявления триботехнических характеристик, обеспечивающих их работоспособность, не исследованы в достаточной для практического использования степени. Цель исследования – уточнение условий фрикционно-механического взаимодействия рабочих элементов вальцов с древесиной и выявление закономерностей изнашивания рабочих поверхностей шипов, что позволяет теоретически обосновать их рациональную геометрическую форму и требования к физико-химическим характеристикам рекомендуемых материалов. Для этого рассмотрен характер действующих нагрузок, реализующийся в зоне контакта металлических поверхностей шипов с древесиной при перемещении заготовок. Представлена картина изменения силового взаимодействия шипов с древесными заготовками, начиная с момента контакта отдельного шипа до выхода его из зацепления. Ее анализ показал, что уже в начале контакта на вершинную часть шипа начинает действовать ударная изгибающая нагрузка, которая в случае достижения пиковых значений нередко приводит к износу путем выкрашивания достаточно крупных микрообъемов подающих шипов. Вероятность проявления такого характера разрушения наиболее велика при недостаточной прочности используемого материала,

наличии дефектов его структуры, особенно неблагоприятно расположенных микро-трещин, и действия опасных растягивающих остаточных напряжений. Перечисленные факторы также существенно влияют на протекание коррозионно-механического изнашивания рабочих поверхностей шипов и сопротивление их перемещению в древесной среде. Таким образом, основным фактором эффективной транспортировки заготовки в зону ее обработки и достижения высокой износостойкости подающих вальцов является оптимизация геометрии шипов, свойств назначаемых материалов и технологии упрочняющей обработки рассматриваемых деталей.

Для цитирования: Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В., Прозоров Я.С., Пыриков П.Г. Повышение работоспособности подающих устройств деревоперерабатывающего оборудования // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 102–110. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

Ключевые слова: фрикционно-механический контакт, подающие вальцы, работоспособность, трение, сцепление, изнашивание, геометрическая форма, триботехнические параметры, нагрузка.

Введение

Повышение надежности лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования обеспечивается за счет увеличения долговечности и безотказности его основных механизмов, среди которых важная роль принадлежит подающим устройствам, выполняющим перемещение древесных заготовок в зону обработки. При этом надежность фрикционно-механического контакта металлических инденторов (шипов) с обрабатываемыми заготовками в существенной степени обусловлена физико-механическими свойствами древесины и ее способностью удерживать внедренные в нее имплантанты в течение определенного технологического цикла [2, 3, 5, 6].

Стабильность сцепления рабочих элементов вальцов с перемещаемыми заготовками гарантирует безотказную эксплуатацию оборудования. При этом необходимо, чтобы в течение заданного времени сохранялись требуемые геометрические параметры шипов, которые постепенно изменяются в процессе работы механизма подачи вследствие изнашивания. Такая картина поверхностного разрушения является результатом действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных воздействий, сопровождающих процесс фрикционного взаимодействия. Как показывают многочисленные исследования, уровень таких воздействий и физико-химические параметры поверхностных слоев материалов, используемых для изготовления подающих вальцов, и определяют сопротивляемость их изнашиванию [13, 14]. Выполненный ранее анализ состояния и перспектив повышения работоспособности подающих вальцов показал, что необходимый ее уровень может быть обеспечен как за счет снижения негативных эксплуатационных воздействий при работе узла подачи, так и посредством оптимизации параметров состояния функциональных поверхностных слоев, определяющих сопротивляемость материала деталей изнашиванию [4, 11].

Таким образом, повышение работоспособности рассматриваемых деталей можно обеспечить за счет обоснованного формирования благоприятных геометрических параметров изнашиваемых поверхностей шипов и изготовления их из материалов, обладающих высокими триботехническими характеристиками, достигаемыми в процессе целесообразного назначения способов и

режимов формирования и упрочнения. Это должно одновременно обеспечивать как рекомендуемую геометрию рабочих поверхностей, так и получение благоприятных значений физико-механических и химических характеристик формируемого поверхностного слоя материала шипов. Кроме того, очень важно оптимизировать остаточное напряженное состояние функциональных поверхностных слоев и минимизировать в них наличие структурных дефектов, в частности микротрещин, по своей протяженности превышающих выявленные критические значения.

Цель исследования – уточнение условий трибомеханического взаимодействия рабочих элементов вальцов с перемещаемой древесиной и выявление закономерностей изнашивания рабочих поверхностей шипов, что позволит обосновать их рациональную геометрическую форму и назначить возможные методы выполнения эффективной упрочняющей обработки.

Исследование особенностей нагружения и изнашивания шиповых элементов фрикционно-механических подающих устройств

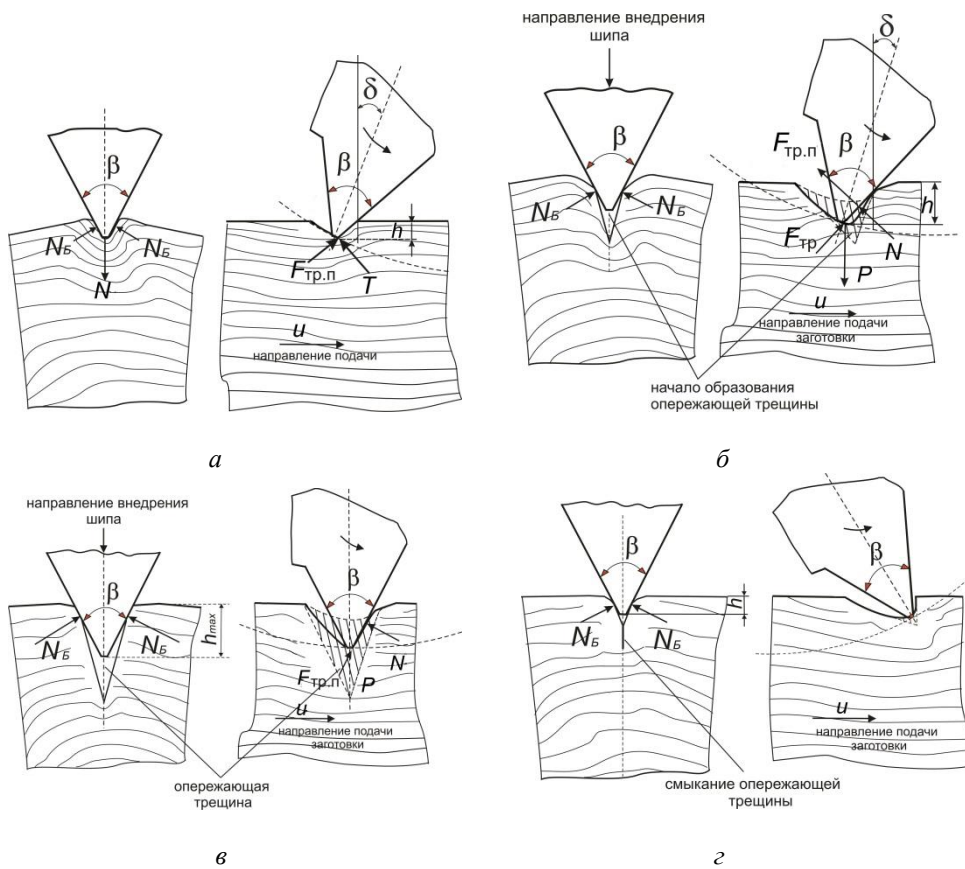
Износостойкость подающих вальцов лесозаготовительных машин и оборудования для переработки древесного сырья во многом обусловлена протеканием процесса трибомеханического сцепления рабочих элементов с древесиной и характером взаимодействия с ней при перемещении заготовки. Поэтому для решения задачи повышения износостойкости шипов необходимо знание эксплуатационных нагрузок, действующих в зоне контакта поверхностей шипов с древесиной, и информации о характере сил и динамике их приложения в период контакта отдельного шипа с древесной заготовкой. Указанная информация может быть получена в результате анализа величин нагрузок и особенностей изменения их в процессе работы [3–5].

На рисунке представлены схемы отдельных этапов взаимодействия шипа, имеющего широко распространенную форму четырехгранной пирамиды, с перемещаемой заготовкой и характер действующих при этом сил.

На каждом из эскизов (см. рисунок, *а*, *б*) с левой стороны изображены поперечные сечения шипа в зоне его взаимодействия с древесиной, справа – продольные сечения. Как видно, на начальном этапе взаимодействия шипа с заготовкой происходит ударный контакт его вершинной части и обрабатываемого материала. Направление действия этой нагрузки совпадает с направлением вектора окружной скорости рассматриваемого шипа, а ее величина определяется состоянием, породой и факторами, характеризующими неравномерность прочностных характеристик поверхностного слоя древесного сырья например вследствие наличия вросших сучков и т. п.

При этом на шип действует совокупность сил, носящих преимущественно изгибающий характер. По мере поворота вальца угол δ , характеризующий отклонение оси шипа от радиального направления его внедрения, уменьшается от δ_{\max} , наблюдаемого в начале контакта с перемещаемой заготовкой, до 0 при максимальном заглублении. В результате действующая на шип нагрузка до этого момента возрастает, после чего она резко снижается.

В общем случае силы, действующие на рабочие поверхности шипа, представляют собой совокупность сил сопротивления смятию древесины N и ее составляющих на передние $N_{\text{п}}$ и боковые $N_{\text{б}}$ поверхности шипа, а также и



Этапы внедрения шипа в заготовку при его взаимодействии с древесиной: *а* – начало контакта; *б* – процесс внедрения; *в* – максимальное заглубление; *г* – выход из зацепления (β – угол заострения шипа; P – осевая нагрузка; $F_{тр}$ – сила трения волокон древесины)

Stages of implementation of a tenon interacting with wood into the working blank: *a* – begin of contact; *б* – implementation; *в* – maximum penetration; *г* – recession (β – tenon cutting edge angle; P – axial load; $F_{тр}$ – friction force of wood fibers)

сил трения $F_{тр.п}$ и $F_{тр.б}$, действующих при перемещении шипа в образуемом отпечатке. Значения этих сил могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$N = \sigma_{см} S_K;$$

$$F_{тр.п} = N_{п} \mu_{п}; \quad F_{тр.б} = N_{б} \mu_{б},$$

где $\sigma_{см}$ – предел прочности древесины на сжатие (смятие) поперек волокон; S_K – площадь смятия, изменяющаяся по мере заглубления шипа; $\mu_{п}$ и $\mu_{б}$ – коэффициенты трения древесины по передним и боковым поверхностям шипа.

При анализе возможностей повышения износостойкости валцов следует учитывать, что к износу путем выкрашивания достаточно крупных микрообъемов вершинной части подающих шипов приводит совокупная изгибающая нагрузка, равная $T + N_{б} \mu_{б}$ (T – изгибающая нагрузка на переднюю поверхность шипа). Вероятность реализации такого разрушения наиболее велика при недостаточной прочности материала и наличии дефектов его структуры, особенно неблагоприятно расположенных микротрещин, и действию

опасных растягивающих остаточных напряжений. Такое микроразрушение происходит при ударном приложении нагрузок, чаще всего при контакте шипа с аномально прочными зонами древесного материала, например с сучками или сторонними включениями повышенной твердости [5, 7].

Углубляясь далее в древесину, шип продолжает ее деформировать. При этом боковые грани шипов вращающегося вальца стремятся расклинить и разъединить волокна древесины в поперечном направлении. В результате сплошность древесины нарушается с образованием в определенный момент опережающей трещины. Далее шип заглубляется до максимальной величины h , а образовавшаяся опережающая трещина продолжает распространяться вглубь древесного материала. В результате волокна древесины в большей степени растягиваются по боковым поверхностям шипа, плотнее охватывая их, что увеличивает силы сопротивления возможному проскальзыванию шипа при перемещении заготовки.

После достижения максимальной глубины внедрения шипом тормозящая сила, действующая на него со стороны деформированных волокон древесины, начинает снижаться. При этом уменьшается роль передней поверхности шипа в перемещении древесной заготовки. Это связано с динамикой процесса взаимодействия шипа с древесиной, в результате чего нарушается контакт передней поверхности индентора с заготовкой при повороте его в лунке контактирования (см. рисунок, *в*). В результате боковые поверхности шипа совершают основную работу по перемещению бревна за счет действия сил трения, удерживающих шип. Величина этих сил возрастает от минимума в начале контакта до максимума в зоне максимального заглубления. Затем, по мере выхода шипа из зацепления с перемещаемой заготовкой (см. рисунок, *г*), фрикционно-механический контакт шипа с древесиной постепенно прекращается и нагрузка на него снижается до 0.

Поэтому для повышения тягового усилия вальцов необходимо в максимальной степени обеспечивать плотный контакт передней поверхности шипа с поверхностью его отпечатка в древесине. Это представляется возможным путем придания передней поверхности шипа цилиндрической формы.

С позиции повышения износостойкости боковых поверхностей шипов целесообразным является придание им криволинейного профиля, соответствующего геометрии естественного эксплуатационного изнашивания, что теоретически обосновано и экспериментально подтверждено в работах [1, 4]. Такая форма позволяет помимо минимизации износа и стабилизации его величины по всей поверхности изнашивания более эффективно использовать возможности методов поверхностного упрочнения.

Кроме задания благоприятной геометрической формы шипов, необходимо формирование на них износостойких функциональных слоев, способных сопротивляться коррозионно-механическому изнашиванию древесиной. Для достижения такого результата на основе рационального выбора конструктивных материалов или покрытий целесообразно использовать рекомендации, изложенные в работах [8–10, 12, 15–17].

В качестве таких материалов для изготовления шипованных колец можно применять высокопрочные чугуны марок ВЧ60, ВЧ70, а в особо ответственных случаях – высоколегированные хромоникелевые стали, в сочетании с поверхностной упрочняющей обработкой с нагревом токами высокой частоты

(ТВЧ) или пластическим деформированием эластичным инструментом, или лазерной обработкой на глубину 0,3...0,4 мм [3, 4, 11, 14].

Положительные результаты работы подтверждены в процессе экспериментальных исследований и производственной проверки опытных образцов в условиях контрольной эксплуатации на лесопильных предприятиях.

Заключение

Установлены закономерности нагружения и изнашивания шиповых подающих механизмов лесозаготовительных и деревоперерабатывающих машин, используя которые можно полагать, что для повышения тягового усилия шипов и достижения более высокой их износостойкости целесообразно придание боковым поверхностям шипов криволинейной параболической формы, воспроизводящей геометрию естественного износа. При этом для увеличения тягового усилия профиль поперечного сечения фронтальной поверхности шипа должен иметь форму цилиндра с радиусом, обеспечивающим непрерывный контакт с поверхностью лунки, образующейся при внедрении шипа вглубь перемещаемой древесины.

Для повышения износостойкости и прочности подающих шипов целесообразно использовать при их изготовлении высокопрочные чугуны, подвергнутые упрочняющей обработке в виде закалки с нагревом ТВЧ или поверхностного пластического деформирования, а для наиболее ответственных подающих механизмов, обладающих повышенной прочностью и износостойкостью, рационально применять высоколегированные хромоникелевые стали с лазерной обработкой фронтальной и боковых поверхностей шипа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бершадский Л.И.* Основы теории структурной приспособляемости и переходных состояний трибосистем и ее приложение к задачам повышения надежности зубчатых и червячных передач: дис. ... д-ра техн. наук. Киев, 1982. 394 с.
2. *Гороховский К.Ф., Лившиц Н.В.* Машины и оборудование лесосечных и лесоскладских работ: учеб. пособие. М.: Экология, 1991. 528 с.
3. *Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А.* Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 129–141. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Пилюшина Г.А.* Повышение работоспособности деталей подающих устройств лесопильного оборудования: дис... канд. техн. наук. Брянск, 2004. 148 с.
5. *Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение работоспособности лесопильного оборудования // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 85–91. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Пилюшина Г.А., Пыриков П.Г., Рухлядко А.С.* Повышение работоспособности рабочих органов оборудования и режущих инструментов для обработки неметаллических материалов // СТИН. 2013. № 2. С. 9–13.
7. *Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В.* Исследование сцепления фрикционно-механических шиповых перемещающих устройств // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. V Междунар. науч. конф., Москва, 8–9 ноября 2017 г. М.: ИМАШ РАН, 2017. С. 211–214.
8. Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces / ed. By Yo. Waseda, Sh. Suzuki. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 297 p. DOI: 10.1007/978-3-540-35178-8

9. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods // Journal of Tropical Forest Science. 2006. Vol. 18, no. 4. Pp. 255–260.

10. Jellesen M.S. Tribocorrosion Properties of Metallic Materials and Effects of Metal Release: Ph.D. Thesis. Department of Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark (DTU), 2007. 74 p.

11. Mischler S. Triboelectrochemical Techniques and Interpretation Methods in Tribocorrosion: A Comparative Evaluation // Tribology International. 2008. Vol. 41, iss. 7. Pp. 573–583. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.003

12. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. Mechanochemical Fracture of the Components of Wood-Cutting Equipment // Materials Science. 2014. Vol. 50, iss. 1. Pp. 148–155. DOI: 10.1007/s11003-014-9703-x

13. Pamfilov E.A., Pilushina G.A., Polosov V.I. Conditions of Maintenance of Stable Frictional Contact of Submitting Rollers Woodworking Machines // Proceedings of BALTTTRIB 2007 International Scientific Conference, Kaunas, November 21–23, 2007. Kaunas, 2007. Pp. 67–71.

14. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Rukhlyadko A.S. Improving the Performance of Machining Tools for Nonmetallic Materials // Russian Engineering Research. 2013. Vol. 33, no. 9. Pp. 532–535. DOI: 10.3103/S1068798X13090128

15. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors Influencing Steel Tool Wear When Milling Wood // Wood Science and Technology. 2005. Vol. 39, iss. 3. Pp. 225–234.

16. Silman G.I., Pamfilov E.A., Gryadunov S.S., Gruvman A.I. Effect of the Structure of Chromium-Vanadium White Irons on Their Wear Resistance // Metal Science and Heat Treatment. 2007. Vol. 49, no. 7–8. Pp. 405–408. DOI: 10.1007/s11041-007-0076-8

17. Wood R.J.K. Tribo-Corrosion of Coatings: A Review // Journal of Physics D: Applied Physics. 2007. Vol. 40, no. 18. Pp. 5502–5521. DOI: 10.1088/0022-3727/40/18/S10

Поступила 21.11.18

UDC 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment

E.A. Pamfilov¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

G.A. Pilyushina¹, Candidate of Engineering Sciences

E.V. Sheveleva², Candidate of Engineering Sciences

Ya.S. Prozorov¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

P.G. Pyrikov¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Bryansk State Technical University, bul'var 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation; e-mail: epamfilov@yandex.ru, gal-pi2009@yandex.ru

²Bryansk State Engineering and Technological University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: elshev78@yandex.ru

The working capacity of the logging and wood processing equipment feeding mechanisms is determined by the achievable coupling of the roller's working elements with the movable blanks. The coupling stability depends significantly on the geometry specified in the design and implemented in manufacturing and physicochemical properties of the materials of tenons that capture, hold and continuously move the blanks into the processing zone. During operation, the geometrical parameters of tenons are changing due to wearing out, which is a result of a complex set of mechanical, chemical, thermal and other influences that accompany friction and deformation interaction of working elements of feeders and movable wood. Worn down tenons do not provide reliable movement of a blank, due to its slippage, which

causes quality reduction of final products and leads to intensification of the cutting tool wearing out. At the same time the features of influence of tenon geometrical form on the mating forces of feeding rollers with movable blanks in conditions of development of the tribotechnical characteristics, which provide their working capacity, are not studied sufficiently for the practical use. Therefore, the research purpose is to clarify the conditions of friction-mechanical interaction of working elements of rollers with wood and to identify patterns of wearing out of tenon working surfaces, which allows theoretically substantiate their rational geometrical shape and requirements for the physicochemical characteristics of recommended materials. The acting load's principles realized in the zone of contact of the metal surfaces of tenons with wood at displacement of blanks are considered for these purposes. The process of the force interaction change of tenons with blanks is shown beginning with the moment of contact of a certain tenon until it leaves the coupling. Its analysis showed that already at the beginning of the contact the shock bending load begins to act on the top of a tenon. The load in case of peak values often leads to wearing out by crumbling sufficiently large microvolumes of the feeding tenons. The probability of development of such fracture pattern is the greatest with insufficient strength of the using material and presence of structural defects, especially unfavorably located microcracks, and the action of dangerous tensile residual stresses. These factors also significantly affect the corrosion-mechanical wearing out of the working surfaces of tenons and their resistance movement in wood. Thus, the main factor of effective transportation of a blank to the processing zone and achievement of high wearing resistance of feeding rollers is optimization the tenon geometry, properties of the assigned materials and technology of strengthening treatment of the concerned details.

For citation: Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Sheveleva E.V., Prozorov Ya.S., Pyrikov P.G. Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 102–110. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

Keywords: frictional and mechanical contact, feeding rollers, working capacity, friction, coupling, wearing out, geometrical shape, tribological parameters, load.

REFERENCES

1. Bershadskiy L.I. *Fundamentals of Structural Adaptability Theory and Transition States of Tribosystems and Its Practical Application to Solving the Problem of Improving Reliability of Toothed and Worm Gears*: Dr. Eng. Sci. Diss. Kiev, 1982. 394 p.
2. Gorokhovskiy K. F., Livshits N.V. *Vehicles and Equipment Logging and Timber Storage Works*: Educational Textbook. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 528 p.
3. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Possibilities and Prospective Ways to Increase Working Capacity of Forest Sector Machines and Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 5, pp. 129–141.
4. Pilyushina G.A. *Working Capacity Improvement of Feeder's Details of the Sawmill Equipment*: Cand. Eng. Sci. Diss. Bryansk, 2004. 140 p.
5. Pilyushina G.A., Pamfilov E.A. Enhancing Operational Capacity of Sawmill Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2007, no. 4, pp. 85–91.
6. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Ruhletka A.S. Working Capacity Improvement of Working Bodies of Equipment and Cutting Tools for Processing of Non-Metallic Materials. *STIN*, 2013, no. 2, pp. 9–13.
7. Pilyushina G.A., Sheveleva E.V. Study of the Friction Clutch-Mechanical Finger Moving Unit. *Fundamental Research and Innovative Technologies in Mechanical Engineering: Collection of Academic Papers of the 5th Int. Sci. Conf., Moscow, November 8–9, 2017*. Moscow, IMASH RAN Publ., 2017, pp. 211–214.

8. *Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces*. Ed. By Yo. Waseda, Sh. Suzuki. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 297 p. DOI: 10.1007/978-3-540-35178-8

9. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods. *Journal of Tropical Forest Science*, 2006, vol. 18, no. 4, pp. 255–260.

10. Jellesen M.S. *Tribocorrosion Properties of Metallic Materials and Effects of Metal Release*. Ph.D. Thesis. Department of Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark (DTU), 2007. 74 p.

11. Mischler S. Triboelectrochemical Techniques and Interpretation Methods in Tribocorrosion: A Comparative Evaluation. *Tribology International*, 2008, vol. 41, iss. 7, pp. 573–583. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.003

12. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. Mechanochemical Fracture of the Components of Wood-Cutting Equipment. *Materials Science*, 2014, vol. 50, iss. 1, pp. 148–155. DOI: 10.1007/s11003-014-9703-x

13. Pamfilov E.A., Pilushina G.A., Polosov V.I. Conditions of Maintenance of Stable Frictional Contact of Submitting Rollers Woodworking Machines. *Proceedings of BALTRIB 2007 International Scientific Conference, Kaunas, November 21–23, 2007*. Kaunas, 2007, pp. 67–71.

14. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Rukhlyadko A.S. Improving the Performance of Machining Tools for Nonmetallic Materials. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33, no. 9, pp. 532–535. DOI: 10.3103/S1068798X13090128

15. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors Influencing Steel Tool Wear When Milling Wood. *Wood Science and Technology*, 2005, vol. 39, iss. 3, pp. 225–234.

16. Silman G.I., Pamfilov E.A., Gryadunov S.S., Gruvman A.I. Effect of the Structure of Chromium-Vanadium White Irons on Their Wear Resistance. *Metal Science and Heat Treatment*, 2007, vol. 49, no. 7–8, pp. 405–408. DOI: 10.1007/s11041-007-0076-8

17. Wood R.J.K. Tribo-Corrosion of Coatings: A Review. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2007, vol. 40, no. 18, pp. 5502–5521. DOI: 10.1088/0022-3727/40/18/S10

Received on November 21, 2018
